ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ







Научная статья
УДК 621.762.1
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-60-67

Технология изготовления подшипников скольжения из железографитовых композиций

М. С. Егоров, В. Н. Пустовойт, Г. Г. Цорданиди, Р. В. Егорова
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Развитие современной техники предъявляет все более жесткие требования к материалам, работающим в условиях высоких давлений, скоростей, деформаций и агрессивных сред. Использование методов порошковой металлургии при создании новых материалов позволяет обеспечить рациональное сочетание технологии получения структурных и рабочих характеристик. Среди материалов, получаемых методами порошковой металлургии, большой интерес вызывают используемые в машиностроении порошковые стали. В статье исследована возможность изготовления пористых подшипников скольжения из железного порошка для вентиляторных электродвигателей бытовых кондиционеров взамен пористых подшипников из бронзографита.

Постановка задачи. Для обеспечения продолжительной работы вентиляторных электродвигателей из металлических порошков необходимо создание пористых подшипников без легирующих добавок с требуемыми механическими свойствами. Для этого необходимо проведение серии экспериментальных работ по определению зависимостей механических и технологических свойств от температуры спекания, давления прессования и пористости образцов.

Теоретическая часть. В качестве теоретического описания проанализировано применение пресс-формы с дополнительным дренирующим зазором, которая обеспечивает высокую плотность подшипников при низком давлении прессования. Также рассмотрено влияние давления прессования на прочность подшипников скольжения при механических деформациях в зависимости от температуры спекания

Выводы. В работе установлено, что в процессе спекания подшипников скольжения при температуре 800–1100°С происходит значительное науглероживание шихты вследствие разложения стеарата цинка в закрытых порах. В результате формируется ферритоперлитная структура, благодаря чему подшипники хорошо калибруются и имеют высокую износостойкость при работе в паре со стальным валом. Были подобраны оптимальные режимы спекания, давления прессования, которые показали высокую надежность и долговечность получаемых изделий из чистого железного порошка.

Ключевые слова: подшипники скольжения, спекание, углерод, сплавы, пределы прочности, предел текучести, относительное удлинение, микроструктура поверхности.

Для цитирования: Технология изготовления подшипников скольжения из железографитовых композиций / М. С. Егоров, В. Н. Пустовойт, Г. Г. Цорданиди, Р. В. Егорова // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 60–67. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-60-67

Original article

Manufacturing Technology of Sliding Bearings from Ferro-Graphite Compositions

M. S. Egorov, V. N. Pustovoit, G. G. Tsordanidi, R. V. Egorova
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The development of modern technology imposes increasingly stringent requirements on materials operating under conditions of high pressures, speeds, deformations and aggressive media. The use of powder metallurgy methods in the creation of new materials makes it possible to provide a rational combination of production technology, structural and performance characteristics. Powder steels used in mechanical engineering are of great interest among the materials

obtained by powder metallurgy. The article explores the possibility of manufacturing porous bearings made of iron powder for fan motors of domestic air conditioners instead of porous bearings made of bronze graphite.

Problem Statement. To ensure long-term operation of fan motors from metal powders, it is necessary to create porous bearings without alloying additives with the required mechanical properties. This requires a series of experimental work to determine the dependences of mechanical and technological properties on the sintering temperature, compacting pressure and the porosity of samples.

Theoretical Part. As a theoretical description, the use of a mold with an additional draining gap, which provides high bearing density at low compacting pressure, is analyzed. The effect of compacting pressure on the strength of sliding bearings under mechanical deformations depending on the sintering temperature is also considered.

Conclusions. It was established in the work that during the sintering of sliding bearings at a temperature of 800-1100°C, a significant charge carburization occurs due to the decomposition of zinc stearate in closed pores. As a result, a ferrite-pearlite structure is formed, due to which the bearings are well calibrated and have high wear resistance when paired with a steel shaft. Optimum sintering modes and compacting pressures were selected, which showed high reliability and durability of the products obtained from pure iron powder.

Keywords**:** sliding bearings, sintering, carbon, alloys, strength limits, yield strength, elongation, microstructure of the surface.

For citation**:** Egorov M. S., Pustovoit V. N., Tsordanidi G. G., Egorova R. V. Manufacturing Technology of Sliding Bearings from Ferro-Graphite Compositions. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no.3, pp. 60−67. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-60-67

Введение. Пористые подшипники скольжения для вентиляторных электродвигателей бытовых кондиционеров должны выдерживать длительную эксплуатацию (15–20 тыс. ч) в следующих условиях: скорость скольжения — 0,5 м/с; удельная нагрузка — 2 кг/см^2; в качестве смазки используется композиция «Пермавик», создающая постоянный маслообмен в узле трения на весь период эксплуатации электродвигателя (ею заполняют специальную полость подшипникова щита). Эти подшипники изготавливают из порошков цветных металлов: распыленного бронзового порошка марки БРО10С — 1,5–583,8 %, электролитического медного порошка марки ПМС — 1–36 % и оловянного порошка марки ПО-1 с весьма низкой насыпной плотностью — 4 %. Кроме того, в шихту добавляют 1,2 % графитового порошка ГК-3 и 1,5 % стеарата цинка. Следует отметить, что эти материалы достаточно дороги. Кроме того, они требуют при спекании точного соблюдения специальных условий (температурного режима, состава газовой среды в печи).

В настоящее время разработано множество разновидностей пористых подшипников из железографитовых, железомедьграфитовых и других материалов с различными свойствами, успешно заменяющих пористые подшипники из бронзографитов. Но эти материалы менее технологичны, так как требуют значительно больших усилий при прессовании и калибровании подшипников, что сказывается на производительности и стойкости дорогостоящего пресс-инструмента [1–4].

Целью работы является исследование технологических режимов получения пористых подшипников из железного порошка без легирующих добавок (особенно углерода), а также разработка пресс-формы для прессования заготовок с дополнительным дренирующим зазором.

Постановка задачи. Для обеспечения продолжительной работы вентиляторных электродвигателей из металлических порошков необходимо создание пористых подшипников без легирующих добавок с требуемыми механическими свойствами. Для этого необходимо проведение серии экспериментальных работ по определению зависимостей механических и технологических свойств от температуры спекания, давления прессования и пористости образцов.

Теоретическая часть. Материалом для исследования был выбран железный порошок марки ПЖРВ 2.200.226 с насыпной плотностью 2,5 г/см^3, к которому добавляли 1,5 % стеарата цинка. Как известно [5–8], повышенное содержание стеарата цинка в шихте создает дополнительные сообщающиеся поры при спекании. Смешивание осуществляли в V-образном промышленном смесителе в течение 30 минут. Холодное прессование производили на механическом прессе с номинальным усилием 50 кН по принципу эффективного удаления воздуха из шихты через дополнительные дренирующие зазоры, которыми снабжена пресс-форма. Благодаря этому при маленьких давлениях прессования (100–200МПа) достигается высокая плотность подшипников. Возможность дополнительного дренирования в процессе прессования обеспечивается расчленением нижнего пуансона на две части (пуансон в пуансоне) (рис. 1).

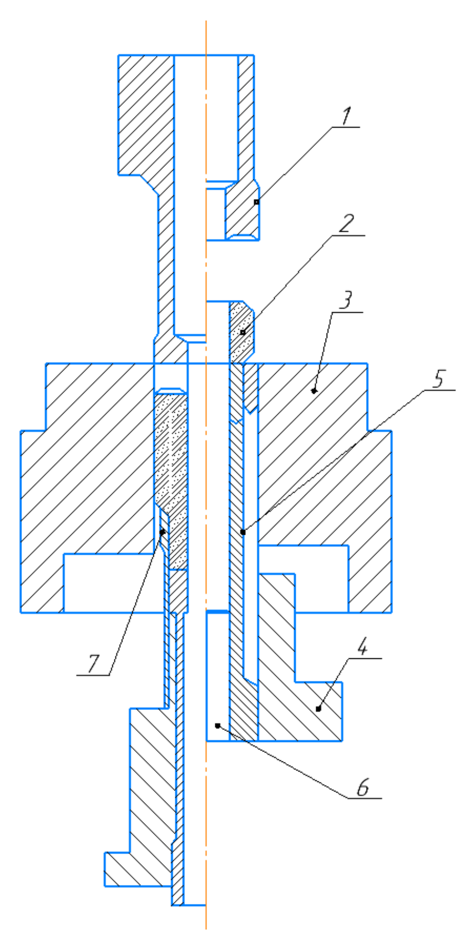


Рис. 1. Пресс-форма с дополнительным дренирующим зазором: 1 — верхний пуансон; 2 — пористый подшипник; 3 — матрица; 4 — наружный нижний пуансон; 5 — внутренний нижний пуансон; 6 — стержень; 7— дополнительный дренирующий зазор

Прессовки спекали в печи непрерывного действия в среде эндотермического газа (температура точки росы от +5 до +8°С) при температурах 800–1100°С в течение 30 минут. Спеченные подшипники калибровали специальным инструментом. Затем производили вакуумную пропитку подшипников маслом ХМ-6 в течение 40 мин при остаточном давлении 1,33 Па.

Было произведено исследование влияния температуры спекания на открытую пористость и масловпитываемость подшипников, спрессованных под давлением 100–250 МПа (рис. 2). Открытая пористость подшипников, спрессованных при 250 МПа, несколько уменьшается с повышением температуры спекания. Разница в пористости между подшипниками, спеченными при 800°С и 1100°С, составляет 1 %. Пористость подшипников, спрессованных под давлением 100–200МПа, с температурой спекания меняется незначительно. Аналогично изменяется и масловпитываемость (рис. 2 б).

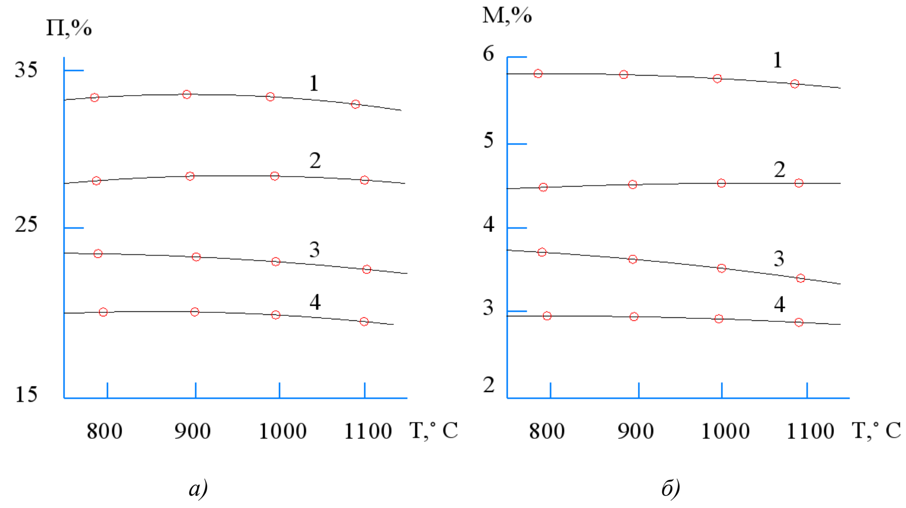
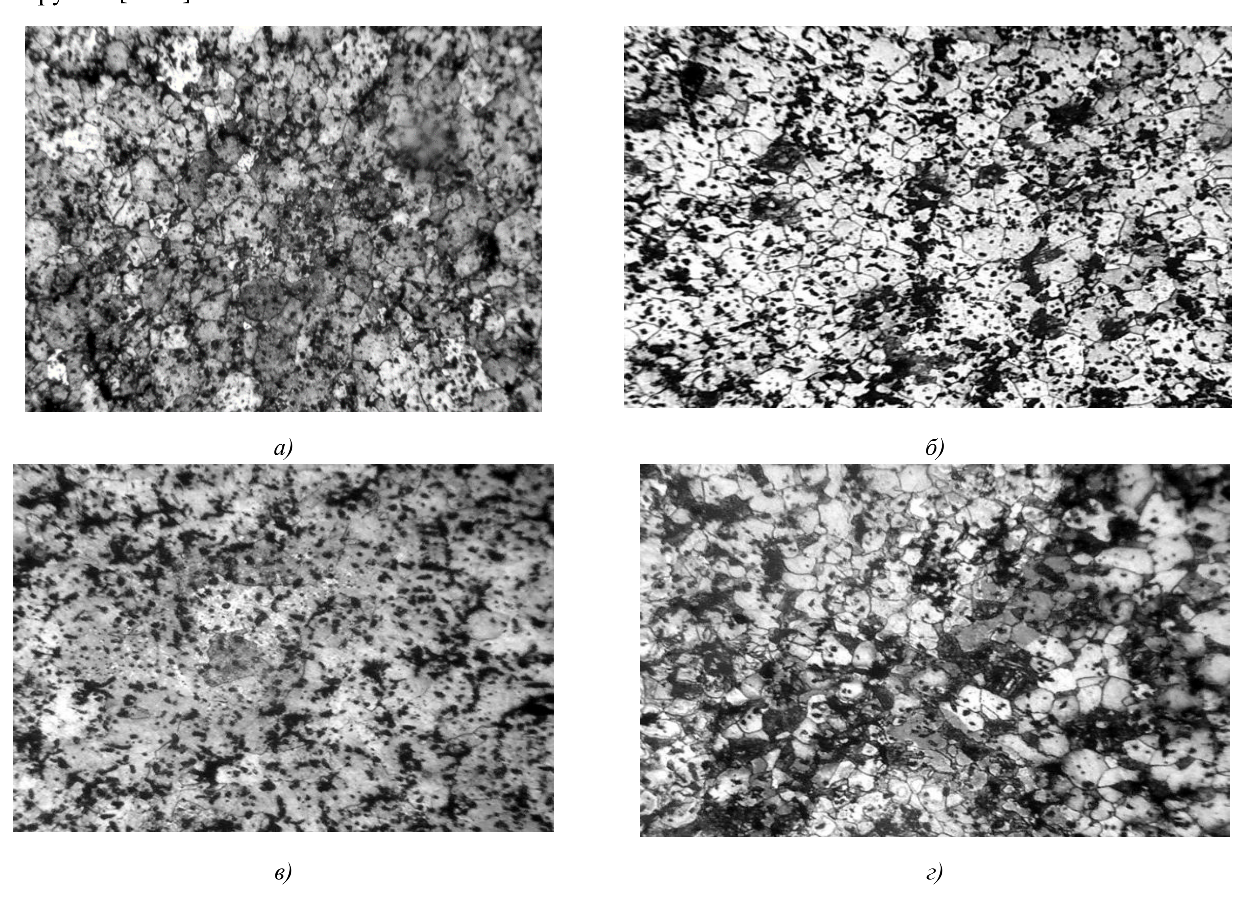


Рис. 2. Результаты исследования влияния температуры спекания на: *а* — открытую пористость; *б* — масловпитываемость: 1, 2, 3, 4 — давление прессования 100, 150, 200 и 250 МПа

С увеличением температуры спекания значительные изменения претерпевает микроструктура подшипников, спрессованных под давлением 150 Па (рис. 3). Количество мелких пор сокращается, а крупные становятся обособленными. При низких температурах спекания стеарат цинка захлопывается в закрытых порах, разлагается и науглероживает спекаемый материал. В структуре подшипников, спеченных при 800°С, значительно больше перлита, хотя в шихту углерод не вводили (рис. 3), но с увеличением температуры спекания количество перлита уменьшается и при 1100°С он едва заметен по границам пор. Появление перлита по границам пор подтверждает факт науглероживания материала через поры вследствие разложения стеарата цинка и воздействия с газовой средой. При спекании во всех рассматриваемых интервалах температур формируется ферритоперлитная структура.

Калибруемость подшипников зависит от температуры спекания (рис. 4 б) в разной мере, в зависимости от давления прессования. Если для подшипников, спрессованных под давлением 100 МПа, с увеличением температуры спекания требуется меньшее усилие калибрования, то для подшипников, спресованных при 150–250 Мпа, — большее. Размеры подшипников при калибровании изменяются в основном за счет уменьшения крупных пор. С повышением давления прессования уменьшается пористость прессовок, увеличивается межчастичный контакт порошков, возрастает число дислокаций и искажений в их структуре. Поэтому с увеличением температуры спекания материал этих подшипников приобретает большую прочность и трудно калибруется [9–12].



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 3. Микроструктура пористых подшипников (×400) при следующих температурах спекания: *а* — 800°С; *б* — 900°С; *в* — 1000°С; *г* — 1100°С

Увеличение температуры спекания в целом приводит к возрастанию прочности подшипников при радиальном сжатии как после спекания, так и после калибрования (таблица 1). Резкое увеличение прочности подшипников во всех случаях наблюдается при 900°С. По-видимому, именно при повышенных температурах усиливается возгонка и выпаривание стеарата цинка, вторичная дегазация закрытых пор и поровых каналов. Далее активизируются диффузионные процессы, происходит полная рекристаллизация: мелкие поры исчезают, а крупные обособляются. Все это способствует повышению прочности подшипников после спекания и калибрования [2, 3, 10].

Таблица 1

Влияние давления прессования и температуры спекания на прочность подшипников при радиальном сжатии

Давление прессования Р, МПа	Температура спекания,°С	Прочность при радиальном сжатии, 1×10^3 Н	
		До калибрования	После калибрования
1,0	800	55	62,3
	900	70	92
	1000	189	263
	1100	252	309,3
1,5	800	90	122
	900	150	178
	1000	222	288
	1100	357	417
2,0	800	221	288
	900	200	250
	1000	357	457
	1100	479	547
2,5	800	160	212
	900	223	300
	1000	473	624
	1100	576	683

В соответствии с требованиями технических условий, подшипники после спекания и калибрования должны обладать прочностью при радиальном сжатии не менее 2,5 кН. Судя по данным таблицы 1, прочность всех подшипников, спеченных при 800°С, ниже этой нормы, независимо от давления прессования. Среди подшипников, спеченных при 900°С, прочностью более 2,5 кН обладают те, которые спрессованы при 200 и 250 МПа, причем после калибрования. Требуемого уровня прочности подшипники, спрессованные под давлением 100 МПа, достигают при температуре спекания 1100°С, другие же подшипники при 1000°С.

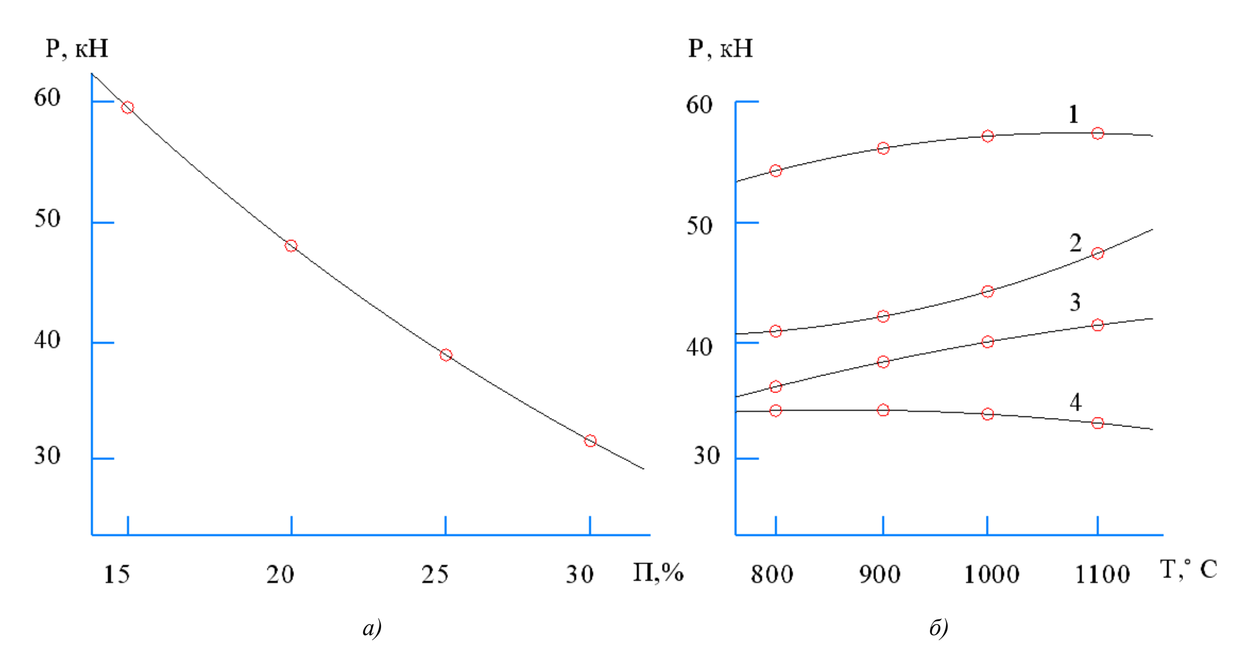


Рис. 4. Зависимость усилия калибровки от:
а — пористости (Т=1100°С, τ=30 мин), *б* — температуры спекания

С увеличением давления прессования в интервале 100–250 МПа плотность как спеченных, так и калиброванных подшипников увеличивается, а открытая пористость и масловпитываемость уменьшается (рис. 5). При этом характер всех кривых остается неизменным.

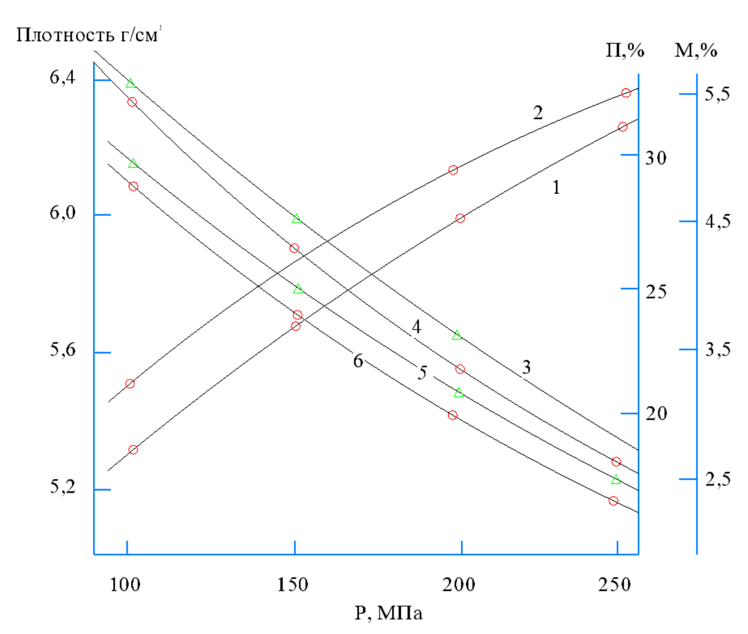


Рис. 5. Зависимость плотности (кривые 1, 2), открытой пористости (кривые 3, 4) и масловпитываемости (кривые 5, 6) от давления прессования

Следует отметить, что подшипники, спрессованные под давлением 100 МПа при высокой пористости и масловпитываемости обладают низкой прочностью, вследствие чего они разрушаются до спекания (при укладке, транспортировке). А подшипники, спрессованные при 250 МПа, обладают высокой прочностью и относительно низкой пористостью, хотя эти параметры отвечают требованиям, предъявляемым к подшипникам из бронографита.

Таким образом, наиболее технологичными следует признать подшипники, спрессованные под давлением 100–150 МПа и спеченные при температуре 1100°С. Но на всех этапах их изготовления лучшими свойствами обладали подшипники, спрессованными при 150 МПа и спеченные при 1100°С в среде эндотермического газа. Из этих подшипников были собраны 20 штук ассинхронных однофазных конденсаторных электродвигателей типа АБТ 71-115У2, применяемых в бытовых кондиционерах. Испытания на износ проводили на кондиционере-макете LG W07LC. В соответствии с требованиями технических условий к данному типу кондиционеров был выбран и срок испытаний — 1,5 тыс. час.

Результаты испытаний показали высокую надежность и долговечность подшипников, изготовленных из чистого железного порошка прессованием под давлением 150 МПа, спеканием при температуре 1100°С с калиброванием усилием 3,8 кН и вакуумной пропиткой маслом ХМ-6. Износ их был примерно таким же, как у подшипников из бронзографита — около 7 мкм на диаметр.

Выводы. Температура спекания подшипников в диапазоне 800–1100°С на их открытую пористость, масловпитываемость и калибруемость значительного влияния не оказывает.

При спекании подшипников формируется ферритоперлитная структура, обеспечивающая высокую износостойкость подшипников при работе в паре с валом из автоматной стали А-30 [13–16].

Подшипники, спрессованные под давлением 200 и 250 МПа и спеченные при температурах 800–1100°С, требуют значительного усилия калибрования, что резко снижает стойкость пресс-инструмента. Низкая прочность этих подшипников после спекания при 800–900°С не является фактором, уменьшающим усилие их калибрования, оно находится в обратно пропорциональной зависимости от пористости подшипника.

Библиографический список

1. Егоров, М. С. Методы получения железных и стальных порошков и конструкционных материалов на их основе / М. С. Егоров, Ж. В. Еремеева, Е. В. Егорова. — Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2021. — 250 с.

2. Либенсон, Г. А. Процессы порошковой металлургии: учеб. пособие в 2- х томах / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. — Москва : МИСИС, 2002. — Т. 2. — 320 с.

3. Егоров, С. Н. Горячедеформированные порошковые низколегированные конструкционные стали : моногр. / С. Н. Егоров, М. С. Егоров. — Новочеркасск : Волгодонский ин-т (фил.) ЮРГТУ (НПИ), 2008. — 54 с.

4. Каблов, Е. Н. Материалы для высокотеплонагруженных деталей газотурбинных двигателей / Е. Н. Каблов, О. Г. Оспенникова, О. А. Базылева // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия Машиностроение. — 2011. — № SP2. — С. 13–19.

5. Sokolov, E. G. The effect of tungsten nanoparticles on the hardness of sintered Sn-Cu-Co-W alloys / E. G. Sokolov, A. V. Ozolin, S. A. Arefieva // Materials Science Forum. — 2020. — Vol. 992. — P. 511–516. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.511

6. Kolodnitskyi, V. M. On the structure formation of diamond-containing composites used in drilling and stone-working tools (A review) / V. M. Kolodnitskyi, O. E. Bagirov // Journal of Superhard Materials. — 2017. — No 39. — P. 1–17. https://doi.org/10.3103/S1063457617010014

7. Multiscale modelling of aluminium-based metal-matrix composites with oxide nanoinclusions / S. Lurie, D. Volkov-Bogorodskiy, Y. Solyaev [et al.] // Computational Materials Science. — 2016. — Vol. 116. — P. 62–73. https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2015.12.034

8. Костиков, В. И. Разработка упрочненных наночастицами композитов для ракетно-космической техники / В. И. Костиков, Л. Е. Агуреев, Ж. В. Еремина // Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия. — 2014. — №1. — С. 35–38.

9. Chagnon, Fr. Effect of Ni addition route on static and dynamic properties of Fe-2Cu-1.8Ni-0.5Mo-0.65C and Fe-2Cu-1.8Ni-0.5Mo-0.85C PM steels / Fr. Chagnon // Adv. Powder Metall. Part. Mater. — 2012. — Vol. 2. — P. 10.73–10.84.

10. Vorotilo, S. Nanoengineering of metallic alloys for machining tools: Multiscale computational and in situ TEM investigation of mechanisms / S. Vorotilo, P. Loginov, D. Sidorenko [et al.] // Materials Science and Engineering: A. — 2019. — Vol. 739. — P. 480–490. https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.10.070

11. Исследование процессов термической обработки порошковых сталей, легированных наноразмерными добавками / Ж. В. Еремеева, Н. М. Никитин, Н. П. Коробов, Ю. С. Тер-Ваганянц // Нанотехнологии: наука и производство. — 2016. — № 1 (38). — С. 63–74.

12. Порошковая металлургия в автомобилестроении и других отраслях промышленности / В. Ю. Лопатин, Ж. В. Еремеева, Г. Х. Шарипзянова, Н. М. Ниткин. — Москва : Университет машиностроения, 2014. — 276 с.

13. Износостойкие композиционные материалы / Ю. Г. Гуревич [и др.]. — Екатеринбург : УрО РАН, 2005. — 215 с.

14. Дьячкова, Л. Н. Влияние нанодисперсных добавок на структуру и свойства порошковой углеродистой и высокохромистой стали / Л. Н. Дьячкова, М. М. Дечко // Нанотехнологии: наука и производство. — 2015. — № 3 (35). — С. 5–14.

15. Панов, В. С. Влияние наноразмерных легирующих добавок на структуру и свойства порошковых углеродистых сталей / В. С. Панов, Р. А. Скориков // Нанотехнологии: наука и производство. — 2015. — № 3 (35). — С. 40–45.

16. Егоров, М. С. Пластичность композиционных материалов с определением температурных режимов горячей штамповки, исключающих появление дефектов в структуре материала / М. С. Егоров, Р. В. Егорова // Заготовительные производства в машиностроении. — 2019. — Т. 17, № 2. — С. 66–72.

Поступила в редакцию 25.06.2022
Поступила после рецензирования 15.07.2022
Принята к публикации 15.07.2022

Об авторах:

Егоров Максим Сергеевич, заведующий кафедрой «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, aquavdonsk@mail.ru

Пустовойт Виктор Николаевич, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета, (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, fipm-dstu@mail.ru

Цорданиди Георгий Георгиевич, доцент кафедры «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, f972@yandex.ru

Егорова Римма Викторовна, доцент кафедры «Кибербезопасность» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, rimmaruminskaya@gmail.com

Заявленный вклад соавторов:

М. С. Егоров — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; В. Н. Пустовойт — формирование основной концепции, цели и задач исследования, научное руководство, подготовка текста, формирование выводов; Г. Г. Цорданиди — проведение расчетов, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; Р. В. Егорова — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.